

превышать 0,07 мм, что не обеспечивает требуемой производительности процесса. Увеличение глубины резания  $t$  до 0,3 мм и скорости изделия  $V_c$  до 0,4 м/мин приводит к появлению структур вторично-закаленного слоя, что, как известно, отрицательно сказывается на работоспособности резьбовых изделий.

Шлифование эльборовым кругом (рис.3,б) резьб с шагом менее 1 мм позволяет расширить диапазон режимов резания  $t$  до 0,3 мм и  $V_c$  до 0,4 м/мин при сохранении требуемого качества поверхностного слоя.

Таким образом, комплексное исследование работоспособности абразивных и эльборовых кругов по технологическим, а также температурным и силовым критериям, позволило рекомендовать Волжскому автомобильному заводу характеристики кругов и режимы резания для операции шлифования резьб метчиков, роликов и гребенок, обеспечивающих требуемую производительность и заданное качество поверхностного слоя.

Б.А. Кравченко, М.С. Нерубай, Ю.И. Иванов, Б.Л. Штриков

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ СУПЕРФИНИШИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ  
ИЗ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ ЭИЗ47Ш

В современном машиностроении предъявляются высокие требования к долговечности и надежности подшипников. Применение суперфиниширования в качестве окончательной операции при обработке деталей подшипников улучшает ряд эксплуатационных характеристик изделий. Вместе с тем, этот процесс является малопродуктивным, съем металла носит циклический характер и прекращается с уменьшением исходной шероховатости обрабатываемой поверхности.

Установлено, что наложение на инструмент ультразвуковых колебаний повышает производительность процесса в 3-5 раз [1], [2]. Поэтому представлялось интересным исследовать влияние ультразвуковых колебаний на качество поверхности и долговечность подшипников при суперфинишировании.

В работе рассматривается влияние ультразвуковых колебаний при суперфинишировании на шероховатость обработанной поверхности, остаточные напряжения и микротвердость поверхностного слоя.

Желоба внутренних колец шарикоподшипников № 104, 204 и других из стали ЭИЗ47Ш (НRC 60-62) обрабатывались на суперфинишном станке модели 44 конструкции 4ПЗ (исходная шероховатость поверхности колец -  $v_8$ ).

Наряду с основными движениями, предусмотренными кинематической схемой станка, инструменту сообщались вынужденные колебания с частотой 4с кГц и амплитудой 4 мкм в направлении, нормальном обрабатываемой поверхности. В качестве источника ультразвуковых колебаний использовался генератор УЗГ-2-0,4.

Режим суперфиниширования изменялся в следующих пределах: удельное давление абразивного бруска на обрабатываемую поверхность,  $P = 2-18 \text{ кгс/см}^2$ ; скорость вращения колец,  $V = 80 \text{ м/мин}$ ; число качаний бруска,  $n_{\sigma} = 150-1600 \text{ дв. кач/мин}$ . В качестве СОЖ применялся 3%-ый содовый раствор. Использовались абразивные бруски КЗ на керамической связке, зернистостью М7-М20 и твердостью МЗ-СТ1.

Исследовались и сравнивались три вида обработки: ультразвуковое суперфиниширование без последующего выхаживания, ультразвуковое суперфиниширование с последующим выхаживанием без ультразвуковых колебаний для достижения более высокой чистоты поверхности и обычное суперфиниширование.

Установлено, что с увеличением числа качаний бруска КЗ20МЗК при  $V = 80 \text{ м/мин}$ ,  $P = 4 \text{ кгс/см}^2$  шероховатость поверхности колец ухудшается (табл. I), что связано с более активным засаливанием поверхности бруска.

Т а б л и ц а I

Влияние числа качаний брусков на шероховатость поверхности

Вид обработки	$n_{\sigma}$ дв. кач/мин					
	150	450	600	800	1200	1600
	$R_z$ , мкм					
Ультразвуковое суперфиниширование последующего выхаживания	0,5	0,55	0,58	0,8	1,2	1,2
Ультразвуковое суперфиниширование с выхаживанием без колебаний 10с	0,2	0,22	0,42	0,58	1,1	1,2
Обычное суперфиниширование	0,23	-	0,48	0,62	1,2	-

Оптимальным числом качаний из условий обеспечения максимальной производительности и шероховатости поверхности в пределах  $\nu 10^B-II^a$

является  $n_{\sigma} = 600$  дв. кач/мин.

Из табл.1 следует, что наилучшие результаты были получены при ультразвуковом суперфинишировании с последующим выхаживанием. Это можно объяснить тем, что при ультразвуковом суперфинишировании съем металла не носит циклический характер и со временем не уменьшается [2]. Резание происходит незатупившимися зернами абразивного бруска, и следовательно, грубые риски, оставшиеся после шлифования полностью выбираются. Высота микронеровностей уменьшается до  $\nu 9 - \nu 10$ , и только после этого производится последующее выхаживание. В то время, как исходная шероховатость поверхности при обычном суперфинишировании соответствует  $\nu 8$ .

Аналогичные результаты были получены при обработке колец брусками КЗ, твердостью СМ2 разных зернистостей при  $V = 80$  м/мин,  $n_{\sigma} = 600$  дв.кач/мин (табл.2).

Т а б л и ц а 2

Влияние зернистости брусков на шероховатость поверхности

Вид обработки	З е р н и с т о с т ь		
	М7	М14	М20
	$\sqrt{R_z}$ , мкм		
Ультразвуковое суперфиниширование без выхаживания	0,29	0,5	0,8
Ультразвуковое суперфиниширование с последующим выхаживанием 15 с без ультразвука	0,2	0,35	0,38
Обычное суперфиниширование	0,2	0,39	0,45

Таким образом, при ультразвуковом суперфинишировании с последующим выхаживанием целесообразно в целях повышения производительности процесса применять бруски зернистостью М20, дающими такую же чистоту поверхности, как и брусок М14 при обычной обработке.

Лучшие результаты получены при работе брусками твердостью СМ2, обеспечивающими как максимальную производительность, так и шероховатость поверхности, соответствующую техническим условиям на изготовление деталей подшипников.

Исследовалось влияние давления бруска на обрабатываемую поверхность и времени выхаживания на шероховатость при ультразвуковом суперфинишировании (табл.3). Обрабатываемый материал ЭИ347Ш, брусок КЭМ20МЗК,  $V = 80$  м/мин,  $n_{\sigma} = 600$  дв.кач.мин (табл.3).

**Т а б л и ц а 3**  
Влияние давления брусков на шероховатость обрабатываемой поверхности

Время выхаживания, с	$P$ , кгс/см <sup>2</sup>				
	2	6	10	14	18
	$R_z$ , мкм				
15	0,3	0,55	0,5	0,4	0,46
30	0,49	0,38	0,37	0,22	0,32

Анализируя представленные результаты, можно сделать вывод, что оптимальным давлением, с точки зрения обеспечения наилучшей шероховатости поверхности, является  $P = 14$  кгс/см<sup>2</sup>. С увеличением давления шероховатость увеличивается, что связано с активным засаливанием поверхности бруска.

Исследования показали, что геометрические параметры обработанных деталей при ультразвуковом суперфинишировании отвечают требованиям технических условий на изготовление колец подшипников. Так, отклонение профиля желоба после обработки на изученном интервале режимов не превышало 0,5 - 0,6 мкм, а волнистость и гранность находились в пределах 0,1 - 0,2 мкм, при исходных значениях этих же величин после шлифования 0,7 - 0,8 мкм и 0,4-0,8 мкм.

Остаточные напряжения на внутренних кольцах № 104 из стали ЭИ347Ш определялись методом непрерывного тензометрирования с последующим расчетом по методике [3].

Установлено, что как при обычном суперфинишировании, так и при ультразвуковом, с последующим выхаживанием без ультразвуковых колебаний в поверхностном слое формируются сжимающие остаточные напряжения. Однако глубина распространения сжимающих напряжений при ультразвуковом суперфинишировании составляет 70-80 мкм против 50-60 мкм при обычном суперфинишировании. При этом величина напряжений в первом случае достигает 80-90 кгс/мм<sup>2</sup>, а во втором - 60-70 кгс/мм<sup>2</sup>.

При ультразвуковой обработке без выхаживания формируется слой глубиной до 90 мкм, в котором остаточные напряжения близки к нулю.

Исследования показали, что при ультразвуковом суперфинишировании поверхность детали на глубине до 40 мкм имеет повышенную микротвердость, составляющую, в среднем, 820-840 кгс/мм<sup>2</sup> против 740-750 кгс/мм<sup>2</sup> при обычном суперфинишировании.

Аналогичные результаты были получены при ультразвуковом суперфинишировании колец шарикоподшипника № 204 из стали ШХ15СТ.

Усталостные испытания на долговечность проводились на гидравлических стендах модели 20-30 при следующих режимах: радиальная нагрузка 300 кГ; число оборотов 9600 об/мин, расчетный ресурс подшипников 50 часов. Желоба внутренних колец подшипников № 204 обрабатывались следующими методами:

ультразвуковое суперфиниширование без последующего выхаживания;

ультразвуковое суперфиниширование с выхаживанием 10 с;

обычное суперфиниширование с последующим полированием алмазной шкуркой М7.

Исходная шероховатость колец  $v_8$ , волнистость - 0,4-0,8 мкм, гранность - 0,4-0,6 мкм. После суперфиниширования эти же параметры составляли  $v_{10}$  у первой партии,  $v_{10}$  - у второй и  $v_{11}$  - у третьей. Волнистость и гранность не превышали 0,1-0,2 мкм. Была установлена следующая средняя долговечность каждой партии: первой - 565 часов, второй - 410, третьей - 425.

Таким образом, наложение на инструмент ультразвуковых колебаний при суперфинишировании не только значительно повышает производительность процесса, но и улучшает качество поверхностного слоя, увеличивает долговечность подшипников.

#### Л и т е р а т у р а

1. Старкина М.Я., Гебель И.Д., Клебанов М.С. Повышение производительности суперфиниширования путем применения ультразвуковых колебаний. "Станки и инструмент", 1970, № 9.
2. Кравченко Б.А., Нерубай М.С., Иванов Ю.И., Штриков Б.Л. Ультразвуковое суперфиниширование деталей подшипников из жаропрочных сталей. В сб. трудов КИТИ: Механика, 1972.
3. Кравченко Б.А. Силы, остаточные напряжения и трение при резании металлов. Куйбышевское книжное издательство, 1962.